



Kvælstoffjernelse ved naturpleje

Vidensgrundlag og opfølgende forskning

Schmidt, Inger Kappel; Gundersen, Per

Publication date:
2018

Document version
Også kaldet Forlagets PDF

Citation for published version (APA):
Schmidt, I. K., & Gundersen, P. (2018). *Kvælstoffjernelse ved naturpleje: Vidensgrundlag og opfølgende forskning*. Københavns Universitet. IGN Rapport



Kvælstoffjernelse ved naturpleje

Vidensgrundlag og opfølgende forskning

Inger Kappel Schmidt og Per Gundersen

Titel

Kvælstoffjernelse ved naturpleje – Vidensgrundlag og opfølgende forskning

Forfattere

Inger Kappel Schmidt og Per Gundersen

Udgiver

Københavns Universitet
Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning
Rolighedsvej 23
1958 Frederiksberg C
ign@ign.ku.dk
www.ign.ku.dk

Ansvarshavende redaktør

Claus Beier

Bedes citeret

Schmidt, I.K. og Gundersen, P. (2018): Kvælstoffjernelse ved naturpleje – Vidensgrundlag og opfølgende forskning. Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning, Københavns Universitet. 39 s. ill.

ISBN

978-87-7903-790-8

Layout omslag

Jette Alsing Larsen

Forsidefoto

Rita M. Buttenschøn

Publicering

Rapporten er publiceret på www.ign.ku.dk

Gengivelse er tilladt med tydelig kildeangivelse

Skriftlig tilladelse kræves, hvis man vil bruge instituttets navn og/eller dele af denne rapport i sammenhæng med salg og reklame

Indholdsfortegnelse

RESUMÉ	3
FORORD	4
INDLEDNING	5
Baggrund og formål	6
Indhold	7
METODEOVERVEJELSER.....	7
Litteratursøgning	7
Opgørelse af N-fjernelse	8
DEL I: N-FJERNELSE VED NATURPLEJE	9
Naturarealer og naturpleje	9
GRÆSNING	10
N-fjernelse	12
Effekt på naturkvalitet og risici	14
AFBRÆNDING	15
N-fjernelse	16
Effekt på naturkvalitet og risici	18
SLÅNING.....	19
N-fjernelse	20
Effekt på naturkvalitet og risici	22
TØRVESKRÆLNING	24
N-fjernelse	24
Effekt på naturkvalitet og risici	25
SAMMENFATNING OG DISKUSSION	27
Naturpleje ved høj N-belastning.....	27
Faktorer af betydning for N-fjernelse	29
Lokal tilpasning af naturplejen.....	29
DEL II: FORSKNINGSPROGRAM - FORSLAG	30
REFERENCER	35

Resumé

Mange lysåbne naturtyper i Danmark er præget af tilgroning og øget kvælstofnedfald. Forskellige former for naturpleje er nødvendig for at holde arealerne lysåbne og naturplejen udgør samtidigt et virkemiddel til at fjerne kvælstof og dermed kompensere for forøget kvælstofbelastning. I denne rapport sammenstiller vi viden om, hvor meget kvælstof forskellige plejemetoder (græsning, afbrænding, slåning og tørveskrælning) kan fjerne fra forskellige naturtyper. Desuden diskutere vi, hvad øget målrettet fjernelse af kvælstof fra områderne vil betyde for næringsstofbalancen og naturindholdet.

Græsning fjerner mindst kvælstof og kan dermed ikke alene forbedre arealernes kvælstofbalance. Slåning og tørveskrælning kan fjerne det samme eller mere kvælstof end de lysåbne naturtyper modtager som N-deposition og kan derfor kompensere for kvælstofbelastningen. Slåning og tørveskrælning kan dog medføre en ubalance i næringsstofsammensætningen, idet man også fjerner fosfor og basekationer, og arbejdet med maskiner medfører en homogenisering af naturarealet.

Afbrænding kan fjerne mere kvælstof end græsning og mængden kan øges ved at øge frekvensen. Afbrænding er den plejemetode, der kan fjerne mest N uden at give anledning til ubalance i næringsstofsammensætningen.

Udenlandske studier peger på, at de bedste resultater for artsdiversiteten under høj kvælstofbelastning kan opnås ved at kombinere græsning og mindre intensiv slåning eller fjernelse af træer og buske med mere intensive metoder som afbrænding, slåning og tørveskrælning på mindre områder. Ved kun at anvende de intensive metoder på mindre områder indenfor et naturareal understøtter man diversiteten. I rapportens sidste del giver vi en række forslag til opfølgende undersøgelser og eksperimenter, der er nødvendige for at forbedre grundlaget for beslutninger om naturpleje og acceptable N-belastning. Der er behov for at udvikle metoder og redskaber til konsekvensvurdering på lokalitetsniveau, men vidensgrundlaget hertil er spinkelt især med hensyn til interaktionen mellem pleje og N-deposition.

Forord

Miljøstyrelsen har bedt Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning ved Københavns Universitet (IGN-KU) om at igangsætte et fagligt udredningsarbejde, der skal tilvejebringe viden om N-fjernelse ved naturpleje, herunder betydningen af naturpleje i forhold til opnåelse af målsætninger for naturen som alternativ til ammoniakkrav. Projektet er finansieret af såvel Miljøstyrelsen som IGN-KU midler. Rapporten er udarbejdet i perioden november - december 2017.

Forfatterne takker Rita Buttenschøn og Lasse Gotlieb, IGN, for kommentarer og opbakning under arbejdet med rapporten, samt Jesper L. Bak, Christian F. Damgaard og Knud Erik Nielsen, Aarhus Universitet, Institut for Bioscience, for at bidrage med litteratur og forskningsideer, samt for faglig kvalitetssikring af en tidligere udgave af rapporten.

Indledning

Mange lysåbne naturtyper i Danmark er i ugunstig bevaringstilstand. Det øgede kvælstofnedfald i Danmark anses som en væsentlig medvirkende årsag til den ugunstige tilstand. Ved at sammenholde en kortlægning af kvælstofnedfaldet med naturområdernes placering fandt Bak (2013), at tålegrænsen for kvælstof var overskredet på mellem 50 og 90% af arealet inden for de forskellige naturtyper. Ved belastning over tålegrænsen må man over tid forvente ændringer i økosystemets funktion og et tab af arter. Der er derfor implementeret regler for godkendelser af udvidelser i husdyrbrug med henblik på, at den lokale ammoniakbelastning til et naturområde ikke øger kvælstofbelastningen udover tålegrænsen.

De lysåbne naturtyper som heder, overdrev og enge er overvejende skabt gennem menneskelig aktivitet, hvor f.eks. tidligere tiders ekstensive brug af heden, engene, moserne og overdrevene til græsning, høst af biomasse til foder eller tørveskrælning fastholdt områderne i de helt tidlige successionstrin. En stor del af disse arealer er overgået til intensiv landbrugsdrift eller plantager. De resterende arealer er nu beskyttet under Naturbeskyttelsesloven, men er de overladt til sig selv, starter en naturlig succession mod skov og denne tilgroning beskytter loven ikke imod. Færre græssende dyr på heder, enge og overdrev og ophør af høstet betyder tilgroning med træer og buske, hvilket er anset som en af de største trusler mod vores lysåbne naturtyper og mange ressourcer bruges i disse år på at opretholde dem i de tidlige successionstrin. Derfor er det meste lysåbne natur i Danmark afhængig af en vis naturpleje, der som tidligere tiders ekstensive drift fjerner materiale fra områderne og holder dem åbne.

Selv om tilgroningen er en naturlig proces på lysåbne naturtyper, er hastigheden af tilgroningen taget til efterhånden, som den atmosfæriske kvælstofdeposition har medført øget næringstilgængelighed. Det øgede kvælstofnedfald betyder ikke kun en højere produktivitet på områderne og en større biomasse, men forskyder også konkurrencen mellem langsomt voksende og lyskrævende arter og hurtigt voksende græsser og betyder dermed et tab af biodiversitet. Fjernelse af biomasse ved naturpleje har i de seneste år været set som et virkemiddel til både at holde områderne lysåbne til gavn for den specielle flora og fauna knyttet til disse naturtyper, men også som et middel til i et vist omfang at fjerne kvælstof.

Denne rapport sammenstiller viden om, hvor meget kvælstof forskellige plejemetoder kan fjerne fra forskellige naturtyper, og om hvor vi mangler viden om plejemetoderne, hvis de skal bruges målrettet til at forbedre kvælstofbalancen for et naturareal. Desuden vil vi se på, hvad målrettet fjernelse af kvælstof fra områderne vil betyde for næringsstofbalancen og naturindholdet. Ideen om kompensationspleje for at fjerne kvælstof overvejes aktuelt i flere EU lande i forhold til Habitatdirektivet og det miljøretslige grundlag diskuteres (se Schoukens 2015).

Baggrund og formål

Arbejdet med denne rapport er blevet til på foranledning af Miljøstyrelsen med følgende baggrund: ”Med aftale om Naturpakke fra maj 2016 er det besluttet, at der skal udarbejdes et beslutningsgrundlag, som skal angive mulighederne for at gennemføre ændringer i reglerne for ammoniakdeposition fra husdyrbrug til beskyttet natur. De nuværende husdyrregler indeholder bl.a. specifikke ammoniakkrav, der sætter grænser for udledningen af ammoniak fra husdyrbrug til nærmere angivne naturområder, fordelt på tre kategorier af ammoniakfølsom natur (kategori 1-3). De specifikke ammoniakkrav er fastsat som krav til enten totaldeposition eller merdeposition.

I forbindelse med udarbejdelsen af et oplæg til beslutningsgrundlag har Miljøstyrelsen opstillet en række modeller, indeholdende forskellige forslag til ændring af den nuværende ammoniakregulering på husdyrområdet, herunder de specifikke ammoniakkrav.

Den ene af disse modeller omfatter et forslag om en ”udfordringsret”, der bl.a. skal give ansøger mulighed for at udfordre valget af specifikke ammoniakkrav som virkemiddel til at opnå konkrete naturmål for et konkret naturområde. Ansøger skal således kunne bede om en konkret væsentlighedsvurdering af den ansøgte ammoniakudledning fra husdyrbruget sammenholdt med de konkrete naturmål for et naturområde, øvrige kilder til påvirkning af området samt (øvrige) tiltag/indsatser i området. På baggrund af den konkrete vurdering skal ansøger kunne vælge andre virkemidler – f.eks. en kompensationspleje, hvor en del af ammoniakkravet substitueres med afgræsning, slæt, tørveskrælning eller afbrænding eller ophør med eller reduktion af gødsning og reduceret randpåvirkning (bræmmer). Andre virkemidler kan også komme på tale.

I tilknytning hertil igangsættes et fagligt udredningsarbejde, der skal tilvejebringe viden om specifikke alternative virkemidler (plejetiltag m.v.) til ammoniakkrav, herunder betydningen af virkemidlerne i forhold til opnåelse af målsætninger for naturen som alternativ til ammoniakkrav. For de mest anvendte tiltag opstilles der om muligt, på fagligt grundlag, en række generelle ”bytteforhold”,

således at kommunen ikke i alle tilfælde konkret skal vurdere, hvor meget ammoniakkravet kan lempes – f.eks. ved afgræsning, slæt eller reduceret gødskning.

Før mulighederne for at indføre sådanne ”bytteforhold” kan fremlægges for beslutningstagerne, er der således forudgående et behov for et overblik over den nuværende viden på området samt evt. et behov for at indsamle ny viden inden for området.”

Indhold

Rapporten indeholder to leverancer:

- 1) En redegørelse for den nuværende viden om muligheder for at fjerne kvælstof gennem naturpleje m.v. i et ”state-of-the-art” papir. Der skal herunder redegøres for hvilke mængder kvælstof, der ud fra erfaring kan fjernes ved de enkelte typer af naturplejetiltag og efter naturområdernes strukturelle udgangspunkt. Det skal også belyses i hvilken grad, naturplejetiltagene overordnet kan kompensere for en øget ammoniakdeposition, efter en målsætning om fastholdelse af naturområdernes nuværende tilstand. Endvidere skal mulige negative sideeffekter af plejetiltag nævnes. Ved naturpleje forstås her hovedsageligt afgræsning, høslæt og afbrænding samt tørveskrælning. Naturtypemæssigt vil der kunne inddrages erfaringer, der spænder indenfor alle de lysåbne terrestriske naturtyper i Nord- og Vesteuropa.
- 2) En opsamling på hvilken yderligere naturfaglig viden, der er behov for, for at afdække mulighederne for en ”bytteordning”, der kompenserer for de naturmæssige effekter, der forventes ved en tilladelse til en konkret merdeposition af ammoniak. I opsamlingen kan også beskrives hvilken viden, igangværende projekter må forventes at bidrage med inden for en kortere årrække. I notatet samles behovene for yderligere naturfaglig viden om ”bytteforholdsordningen” til et forslag og beskrivelse af et-flere mulige opfølgende projekter i 2018.

Metodeovervejelser

Litteratursøgning

I 2007 blev litteraturen på området gennemgået af Damgård m.fl. (2007). Vi bygger videre på denne sammenstilling og har søgt i internationale tidsskriftsdata-baser efter publikationer om emnet efter 2005. Vi har dels anvendt relevante søgeord, dels søgt efter artikler, der citerer centrale publikationer, der er anvendt i Damgaard m.fl. (2007). Vi fandt endvidere en større sammenfattende rapport

fra Wales om naturpleje og muligheder for at afbøde effekter af øget kvælstofnedfald (Stevens m.fl., 2013) samt en oversættelse af en række kapitler fra et hollandsk arbejde vedrørende genopretning i Natura 2000 områder og habitater (Alterra, 2012). Vi har overvejende forsøgt at dække emnet med kilder fra nordvest Europa, hvor forholdene er sammenlignelige med de danske.

Opgørelse af N-fjernelse

Vi beskriver og angiver først og fremmest estimater for den direkte N-fjernelse ved naturpleje, som forekommer ved at materiale fjernes fra naturarealet. I det omfang der er viden herom, inddrager vi også plejens indirekte påvirkning på tab ved ammoniakfordampning, N-udvaskning eller denitrifikation. Ud over litteratursøgning, har vi samlet data fra plejeforsøg, hvor biomasse og næringsindhold er analyseret. Enkelte af IGN's langsigtede forsøg har været analyseret flere år eller flere gange indenfor et år, så vi i enkelte tilfælde kan få en idé om variationen mellem år og indenfor et år, da plejetidspunkt kan have stor betydning for N-fjernelse ved naturpleje.

I det omfang, der er angivet fosfor (P) fjernelse i kildematerialet, er denne inddraget, da det er forventeligt, at de forskellige plejemetoder vil påvirke næringssammensætningen af det fjernede materiale forskelligt. N fjernet ved naturpleje vil i løbet af få år være erstattet af atmosfærisk N-deposition, mens især P og til dels kationer vil være afhængig af frigivelse fra jordens næringspulje. Specielt på næringsfattig bund kan det betyde en ændring i jordens næringssammensætning med en højere N:P ratio i jorden og en mulig næringsstof-ubalance i økosystemet.

Når vi i teksten skriver om N-deposition, er der i alle tilfælde tale om det, der i husdyrloven kaldes for totaldepositionen, idet det er totaldepositionen, der påvirker økosystemet.

Del I: N-fjernelse ved naturpleje

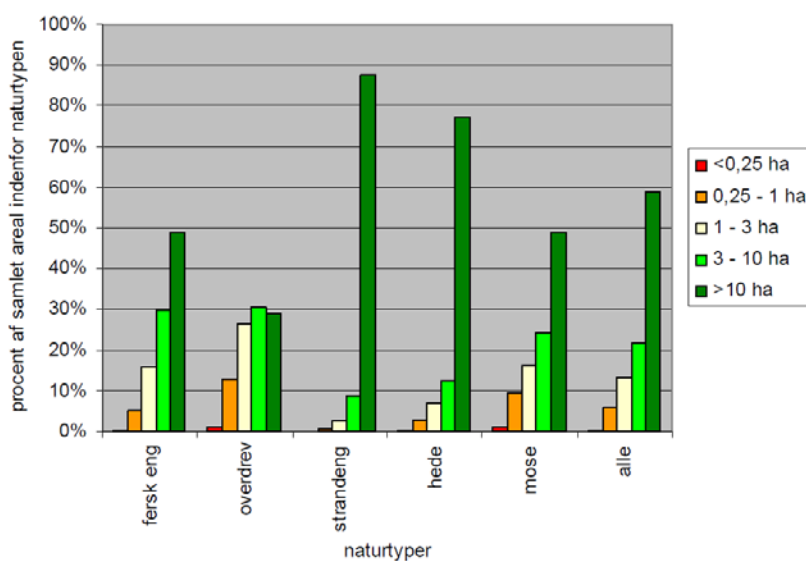
Naturarealer og naturpleje

Det meste af den lysåbne natur i Danmark er afhængig af en vis naturpleje, der som tidligere tiders ekstensive drift fjerner materiale fra områderne og holder dem åbne. Nygaard m. fl. (2012) anslår det plejekrævende areal indenfor beskyttet natur til godt 340.000 ha, hvoraf godt 133.000 ha ligger indenfor habitatområderne. Inddrager man tilstødende ekstensive græsarealer drejer det sig samlet om i alt godt 425.000 ha, hvoraf knap 2/3 ligger udenfor habitatområderne.

Det er ikke alle plejemetoder, der er optimale for alle naturtyper, så i de efterfølgende afsnit om de forskellige plejemetoder gennemgår vi indledningsvis, hvor de enkelte plejemetoder oftest bliver anvendt i Danmark og vurderer desuden mulighederne for anden form for pleje.

Tabel 1: Plejebehovet (og potentielt plejevalg) på naturarealer omfattet af naturbeskyttelseslovens §3. Efter Nygaard m.fl. 2012.

Naturtype	Græsning	Høslæt	Kombination	Totalt ha
Ferske enge	27.765	53.071	14.361	95.197
Overdrev	12.337	15.721	-	28.058
Moser	24.983	33.157	15.837	73.977
Heder	44.206	26.686	13.743	84.635
Strandenge	21.682	21.290	1.114	44.086
Samlet §3 natur	130.973	149.925	46.055	326.953
Andel af §3 natur	38 %	43 %	13%	94 %



Figur 1: Størrelsesfordeling af arealer indenfor samme naturtype vist som andel af naturtypens samlede areal (Levin 2010).

Valg af plejemetode afhænger desuden af arealstørrelsen. Der er en stor andel af de lysåbne naturtyper, der er små, dvs. under 1 ha eller få ha (figur 1). Disse omkring 20 % af arealet med natur vil på grund af størrelsen ikke være egnede til græsning og måske heller ikke til maskinslåning (pga. for høje omkostninger), medmindre de ligger i tilknytning til anden natur.

En del §3 områder er groet til med træer og buske. Johannsen og Nord-Larsen (2017) har opgjort de skovbevoksede §3 arealer baseret på bl.a. LiDAR data, hvilket viser at ca. 72.000 ha §3 natur er tilgroet med træer (Tabel 2). Over halvdelen af arealet er træer i størrelsesklassen 2-6 m, men en betragtelig del er >6 m høje. Det er især moserne, hvor 40 % er groet til med træer, fulgt af hederne, hvor ca. 25 % af arealet er skovbevokset. Kun mindre arealer på de resterende naturtyper er skovbevokset. Den massive tilgroning stiller krav til en indledende pleje/restaurering med fjernelse af træer og buske for at få dem i god bevaringstilstand. Det vil betyde en betragtelig kvælstoffjernelse, men det aspekt er ikke dækket af nærværende rapport, da der mangler data på området m.h.t. biomasse og næringskoncentration af træer i disse størrelsesklasser.

Tabel 2: Træbevokset areal af §3 natur. Efter Johannsen og Nord-Larsen (2017).

	Eng	Hede	Mose	Overdrev	Strandeng	I alt
Areal (ha)	109.000	85.700	102.100	34.300	48.000	379.100
Areal med træhøjder > 2 m	4.700	20.900	40.500	4.700	1.200	72.000

Græsning

Den lysåbne natur i Danmark består af enge, overdrev og heder, der igennem årtusinder er udviklet og vedligeholdt ved græsning og anden udnyttelse, som netop har holdt dem lysåbne og langsomt fjernet næringsstoffer fra jorden. Græsning er derfor et af de vigtigste redskaber til pleje af lysåbne naturtyper, med henblik på at genoprette og vedligeholde en god naturtilstand. Græsning er relevant som naturpleje for alle de lysåbne naturtyper så vel som i skove eller skovlandskaber. En undtagelse kan være moser, som er for våde til græsning og hvor høj vandstand i nogen grad hindrer tilgroning. Græsningens hovedfunktion er at fremme de lave og lyskrævende arter, som ellers bliver skygget væk af konkurrencedygtige højt voksende planter eller tilgroning med træer og buske. Nygaard m.fl. (2012) anslår, at der er behov for græsning på ca. 40 % af §3 naturarealet. En del §3 arealer er groet til med træer og buske og en indledende pleje/restaurering kan være nødvendig for at fjerne opvæksten.

Den tilgængelige viden om naturpleje ved hjælp af græsning og betydningen for naturindhold er beskrevet i en 'græsningshåndbog' (Buttenschøn 2007). Afgræsning sker fortrinsvis med kvæg, får og heste, der har forskelligt fødevalg og forskellige indirekte virkninger på vegetationen i form af nedtrædning og lignende. Derfor kan de forskellige græssende dyrearter anvendes til at målrette plejen til den enkelte lokalitets plejebehov. Dette medfører en del variation i, hvad græsning egentlig er, men det, der har størst betydning for næringsstoffjernelse via græsning, er græsningstrykket (dvs. hvor mange dyreenheder (DE) per hektar), og hvor længe der afgræsses. Valg af dyr og græsningsperiode vil afhænge af arealets foderproduktion og størrelse (Tabel 3). Afgræsning på små arealer er derfor vanskelig.

Tabel 3. Græsning som naturpleje. De anslåede minimumsarealer afhænger af naturtype mv. og skal tages med forbehold. Fra Buttenschøn (2011).

Driftsform	Hovedformål	Mindste areal	Bemærkninger
Sommer-græsning, kvæg	Tilvækst	2 - 10 ha	Min. areal afhænger af, hvor produktivt arealet er fra næringsrig, fugtig eng til sur, næringsfattig hede
Helårs-græsning, Kvæg	Tilvækst/ Naturpleje	10 – 50 ha	Kræver en mosaik af naturtyper, der kan dække dyrenes foderbehov året rundt og som giver mulighed for tørre liggepladser, læ og ly
Sommer-græsning Får	Tilvækst/ Naturpleje	0,5 – 2 ha	Min. areal afhænger af, hvor produktivt arealet er
Helårs-græsning får	Tilvækst/ Naturpleje	10 - 20 ha	Kræver en mosaik af naturtyper, der kan dække dyrenes foderbehov året rundt og som giver mulighed for tørre liggepladser, læ og ly
Sommer-græsning, heste	Naturpleje	5 - 10 ha	Små græsgange giver fare for slid og en opdeling i hårdt græssede plæner og stort set ugræssede områder



Græsning på Randbøl Hede (Foto: Inger Kappel Schmidt)

N-fjernelse

Da den tilgængelige fodermængde i form af græs og urter og koncentrationen af næringsstoffer er størst om sommeren, har sommergræsning det største potentiale til N-fjernelse. Helårsgræsning kan kun ske med et væsentligt mindre græsningstryk end sommergræsning, på grund af den begrænsede fødemængde og lave næringsindhold om vinteren (Gilhaus & Hölzel 2016), medmindre man tilskudsodrer, hvilket på den anden side øger næringsstofftilførslen til arealet (van Dobben m.fl. 2014). Ved sommergræsning (ca. 200 dage) omsættes en fodermængde svarende til 60-70 kg N per DE, men kun en lille del heraf ender som en del af dyrets øgede kropsvægt. Gundersen & Buttenschøn (2005) angiver, at der med kvæggræsning med et græsningstryk på 0,3 DE/ha på næringsfattig, sur jordbund i Mols Bjerge forekommer en vægtforøgelse på 600 g/dag/dyr, hvilket i kvælstof svarer til en årlig fjernelse i størrelsesordenen 1 kg N/ha/år. Ved ekstensiv fåregræsning i Wales anslog Emmett m.fl. (2004) tilsvarende, at 0,5-1 kg N/ha/år blev fjernet med dyrene. Ved et højere græsningstryk på 1 DE/ha kan der fjernes i størrelsesordenen 3-4 kg N/ha/år afhængig af dyrenes tilvækst og vegetationens næringsindhold. Til sammenligning er der ved intensiv landbrugsmæssig drift med afgræsning af gødskede græsarealer målt en tilvækst svarende til 12 kg N/ha/år (Benke m.fl. 1992).

Tabel 4. Estimer for fjernelse af kvælstof og fosfor ved græsning samt kort oversigt over potentielle uønskede virkninger og risici.

Naturtype	Kvælstof	Fosfor	Kommentar	Reference	Risici, uønskede virkninger
	Kg/ha/år	Kg/ha/år	Se uddybning i teksten		Se uddybning i teksten
Overdrev/hede	0,5-1		Ekstensiv fåregræsning	Emmett m.fl. 2004	<ul style="list-style-type: none"> Overgræsning giver tab af biodiversitet og større hvileområder med optrampning og næringsberigelse. Høj N-udvaskning fra hvileområder Fodring øger næringsstoffophobningen
Overdrev	4		0,3 DE/ha incl indirekte tab	Gundersen & Buttenschøn 2005	
Overdrev	10		1,0 DE/ha incl indirekte tab		
Klithede	6,6	0,5	Beregnet ud fra Härdtle m.fl. 2009	Blindow m.fl. 2017	
Hyrdegræsning på hede	26	1,9	Dyrene på stald om natten	Härdtle m.fl. 2006	
Hyrdegræsning i klit	8-18		Dyrene i indhegning om natten	Van den Berg m.fl. 2014	

Kvælstofmængden fra den afgræssede vegetation bliver stort set på arealet i form af urin og gødning, hvorfra kvælstof kan fordampe som ammoniak, blive denitrificeret til frit kvælstof eller udvaskes som nitrat. Gundersen & Buttenschøn (2005) opgør fjernelsen som ammoniakfordampning og

ved denitrifikation til 6,5 kg N/ha/år (ved et græsningstryk på 1,0 DE pr ha), baseret på de emissionsfaktorer man anvender for græssende husdyr ved almindelig landbrugsdrift. Disse faktorer overvurderer formentlig tabet, idet foderkvaliteten og dermed N-indholdet er ringere på naturarealer end på gødede græsarealer.

Tabet af N ved nitratudvaskning er normalt meget lavt (eller nær nul) fra naturarealer, men den kan måske øges ved græsning. Græsningens effekt på kvælstofudvaskning blev undersøgt i Mols Bjerge på en sandet og næringsfattig jord (Pedersen m.fl., 2001). Man sammenlignede udvaskningen over tre år fra et ugræsset og et græsset overdrev (græsningstryk 0,3-0,4 DE/ha). Udvasningen blev beregnet til henholdsvis 1,7 og 2,5 kg N/ha/år for det ugræssede og det græssede område (Pedersen m.fl., 2001). Forskellen skyldtes en effekt af urinering, hvor der for en enkelt ud af ni jordvandsopsamlere optrådte meget høje nitratkoncentrationer i en kortere periode (helt op til 1000 mg nitrat/l). For hele arealet gav dette alligevel kun en øget N udvaskning på 0,8 kg N/ha/år over de tre år.

Stevens m.fl. (2013) omtaler en lignende undersøgelse fra Wales, hvor fåregræsning reducerede den målte N-udvaskning, men resultaterne findes alene i en ikke tilgængelig rapport. Der findes kun få af denne type undersøgelser. Nogle forfattere antager, at 20 % af N-tilførslen udvaskes (se fx Jones m.fl. 2017), men det virker ikke velunderbygget. Härdtle m.fl. (2009) fandt f.eks. ingen ændring i N-udvaskning ved græsning på Lüneburger Heide i Nordtyskland, men i dette tilfælde opholdt dyrene sig ikke på arealet om natten (hyrdegræsning).

Den samlede N-fjernelse direkte såvel som indirekte kan være fra 4 kg N/ha/år på næringsfattig overdrev/hede med lavt græsningstryk og op til 10 kg N/ha/år på mere næringsrige lokaliteter, hvis der kan græsses med 1 DE pr ha. Græsning kan også anvendes i klitter, men med et lavt græsningstryk på grund af lav fodermængde (lav biomasseproduktion), så her vil N-fjernelsen være minimal. Det vil være muligt at øge N-fjernelsen ved græsning betydeligt ved at lade dyrene overnatte udenfor naturarealet f.eks. på et tilstødende landbrugsareal i omdrift eller i en form for stald, svarende til fortidens 'hyrdedrift', hvor en hyrde drev dyrene til en stald eller en indhegning (Buttenshøn, 2007). Derved bliver en stor del af dyrenes gødning og urinering lagt udenfor naturarealet. Härdtle m.fl. (2006) angiver at ca. 60% af fækalierne eller 26 kg N/ha/år bliver fjernet ved hyrdedrift med får på hede. Tilsvarende anslog Van den Berg m.fl. (2014), der kunne fjernes 8-18 kg N/ha/år ved en form for hyrdegræsning.

Effekt på naturkvalitet og risici

Afgræsning har veldokumenteret positiv virkning på naturkvaliteten i lysåben natur (Buttenschön, 2007; Rupprecht m.fl. 2016). Undersøgelser bl.a. fra Sverige og England konkluderer dog, at græsning ved lavt græsningstryk ikke er tilstrækkeligt til at vedligeholde naturkvaliteten på artsrigt græsland på længere sigt, men kræver supplerende pleje (Tälle 2015, Tallowin m.fl. 2005). Eksempler fra Sydsverige på effekten af langtidsgræsning på artsrigt græsland viser, at græsning ved lavt græsningstryk medfører en øgning af kvælstofindikatorer (Tälle m.fl. 2015).

Med den nuværende N-deposition vil stort set alle afgræssede naturarealer i Danmark modtage mere kvælstof end der kan fjernes gennem græsningen. På trods af afgræsning forekommer der således en ophobning af kvælstof i økosystemerne – de bliver mere kvælstofrige. En undersøgelse af vegetationens diversitet på 68 overdrevslignende lokaliteter (acid grasslands) i UK viste et signifikant fald i antal arter med stigende N-deposition (Stevens m.fl. 2004). Der var ingen indflydelse af græsning på denne sammenhæng. Samme tendens er bekræftet på europæisk plan ved undersøgelser på 153 lokaliteter fra 13 lande inklusiv Danmark (Stevens m.fl., 2011). Denne type resultater er baggrunden for, at tålegrænsen for kvælstof for sure overdrev er fastsat til 10-15 kg N/ha/år (Bobbink & Hetteling 2011), selv om der fjernes kvælstof ved græsning. Der findes kun få undersøgelser, hvor man eksperimentelt har kombineret N-tilførsel og pleje. Et eksempel er fra et overdrev på kalkholdig jord i Belgien, hvor fire niveauer af N-tilførsel blev kombineret med ingen pleje, græsning og høslet over fire år (Jacquemyn m.fl. 2003). Græsning havde den bedste effekt på artssammensætningen, men græsning kunne ikke modvirke et stigende tab af arter med stigende N-tilførsel. Stevens m.fl. (2013) omtaler et lignende eksperiment fra Wales på et surt overdrev med tre niveauer af N-tilførsel kombineret med to niveauer af fåregræsning. Resultaterne herfra bekræfter den positive virkning af græsning, men resultaterne findes alene i en ikke tilgængelig rapport.

Tilførsler af kvælstof kan virke både forsurende og eutrofierende. En forsuring af jorden vil typisk føre til mere artsfattige samfund, specielt på jorder med lille bufferevne. På mange sure overdrev og heder sker der en ændring i mosdække, der formentligt hænger sammen med forsuring. En eller få arter af mosser, som f.eks. *Pleurozium schreberi*, der er tolerant overfor en høj surhedsgrad, breder sig på bekostning af laver og en mere artsrig mosvegetation. Mosdækket kan desuden hæmme spiremulighed for små karplanter. Udviklingen i mosdække kan finde sted uanset om arealet er i græsningspleje eller ej. Græsning ved middel til lavt græsningstryk har i sig selv en svag forsurende effekt og kan derfor øge tilgroningsraten for de surhedstålende mosser (Buttenschön, 2011).

Afgræsningen skal som tidligere nævnt afpasses til fodermængden dels af hensyn til dyrevelfærd og dels fordi et for højt græsningstryk kan medføre tab af arter og andre uønskede virkninger (Buttenschøn, 2007). Hvis man øger græsningstrykket ud over fodermængden, vil der blive behov for tilskudsfordring, hvilket i mange tilfælde vil betyde en væsentlig netto N-tilførsel til arealet (van Dobben m.fl. 2014). Overgræsning kan medføre slid og optrampning, så der opstår større områder med bar jord f.eks. i dyrenes hvileområder. Gennem dyrenes græsning sker der en væsentlig omfordeling af N mellem områder hvor dyrene foretrækker at græsse og til dyrenes hvileområder eller nær vandingstrug. Her forekommer en ophobning af N fra gødning og urinering – en effekt der vil stige med græsningstrykket. Der er målt særligt høje nitratkoncentrationer i jordvand i hvileområder med pletter med bar jord (Gundersen & Buttenschøn, 2005).

Afbrænding

Afbrænding som naturplejemetode har forskellig funktion alt efter naturtype. Metoden er altovervejende anvendt på hederne i Danmark, hvor den bruges til at komme af med ophobet førne fra hurtigtvoksende græsser som blåtop eller bølget bunke eller til foryngelse af hedelyng i gammel hede, men der findes ikke en opgørelse over omfanget af afbrænding som plejemiddel eller anbefalinger om øget brug, som det er tilfældet for græsning og slæt (Nygaard m.fl. 2012). Det var for få år siden oftest på hederne ejet af militæret (knap 10 % af hedearealet), at der foregik afbrænding, dels pga. utilsigtede brande i forbindelse med skydeøvelser, men også som naturpleje. I de seneste år er brug af afbrænding blevet mere udbredt og der er brændt store arealer på de statsligt ejede heder i forbindelse med LIFE-hede projektet (<http://naturstyrelsen.dk/naturbeskyttelse/naturprojekter/life-hedeprojektet/>), så der nu i Danmark er opbygget kompetencer på området.

Hedelyng er tilpasset brand. Hedelyng dør normalt efter 15-30 år, hvorefter planterne skal regenerere fra frø. I denne fase er de langsomtvoksende lyngspirer sårbare overfor konkurrence fra hurtigtvoksende græsser og afbrænding kan på flere måde gavne regenerationen af lyng. Frøspiring af hedelyng fremmes af afbrænding (Bargmann m.fl. 2014) og samtidig er de levende planter meget resistente overfor brand med lave temperaturer, som den overvejende praktiseres i Danmark. Den skyder fra underjordiske dele og dermed forynges vegetationen.

Den overjordiske vegetation fjernes med brand og områderne åbnes op, hvilket gavner artsdiversiteten. Desuden fjernes en del af næringsstofferne ved brand og der skabes plads til nøjsomhedsplanter. N-fjernelsen er afhængig af, om branden er en hurtig medvindsbrand, der fejer hen over

vegetationen eller en modvindsbrand, hvor dele eller hele tørvelaget brændes. Sidstnævnte sker oftest ved naturbrande. Afbrænding udføres som regel i det tidlige forår, da det ikke er tilladt at brænde af efter 1. april. Om foråret er jorden ofte fugtig, så ilden ikke får fat i tørvelaget.

Mange heder er i stærkt til moderat ugunstig bevaringstilstand (Fredshavn m.fl. 2014), hvilket bl.a. skyldes tilgroning med træer og buske eller græsser som bølget bunke og blåtop og dermed ophobning af førne. Branden kan effektivt fjerne ophobet biomasse, evt. med gentagne afbrændinger, som det er blevet praktiseret på Randbøl Hede fra 2011-2015, men det er kun nåletræer, der dør ved afbrænding. Hvis birk eller hæg er til stede på de afbrændte områder, skal de fjernes først for at undgå massiv tilgroning ved genvækst eller spiring af træerne.

Afbrænding af andre naturtyper som plejemetode har ikke været benyttet i nævneværdig grad og der er meget lille viden om, det er en brugbar plejemetode. I specielt USA er afbrænding af græsarealer almindeligt og også i Sverige bliver det brugt i mindre målestok på enge og kær som alternativ til græsning og slæt. Konklusionen fra et længevarende forsøg i Sverige og en metaanalyse er, at kontinuerlig pleje med græsning og høslet giver bedre naturkvalitet end afbrænding (Milberg & Bergman 2014, Milberg m.fl. 2014).

Tilgroning af enge og kær med bl.a. kær-star og lysesiv giver en ophobning af visent løv, som markant mindsker diversiteten og giver dårlige betingelser for græsning. Hald og Michaelsen (2015) har igangsat forsøg med afbrænding af rigkær med problematiske mængder visent løv, men ser tiltaget som en restaurering af naturtypen, der efterfølgende skal suppleres med anden naturpleje f.eks. græsning.

N-fjernelse

Der er to grundige undersøgelser af N-fjernelse efter brand på hede. På den nordtyske hede Lüneburger Heide blev næringsstoffjernelse ved brand undersøgt i et stort anlagt forsøg (Tabel 5; Härdtle m.fl. 2006; 2009). Lüneburger Heide minder om vores tørre indlandsheder. Data herfra er sammenlignelige med den gængse afbrændingsintensitet i Danmark, hvor vegetationen brændes ved lave temperaturer og i det tidligere forår, hvor jorden er våd, så morlaget ikke brændes. Dermed dør hedelyngen ikke, men kan skyde fra den underjordiske biomasse. Ved branden på Lüneburger Heide forsvandt 106 kg N/ha. Med en beregnet frekvens af afbrænding hvert 10. år svarer det til en N-fjernelse på ca. 10 kg N/ha/år.

Depositionen på Lüneburger Heide er højere end i Danmark med 22.8 kg N/ha/år, så N-fjernelsen var erstattet allerede efter 5 år. I Danmark er den gennemsnitlige N-depositionen på hede betydeligt

lavere og ligger omkring 10-12 kg N/ha/år (Ellermann m.fl. 2015). Gentagen brand kan derfor nogenlunde erstatte input fra den atmosfæriske N-deposition især på heder med en stor pulje af biomasse og ophobet førne. Samtidig kombineres brand ofte også med opfølgende græsning, så en hyppighed på måske 10-15 år er mere passende i Danmark. Selv om brand resulterer i høje koncentrationer af plantetilgængeligt N og P, samtidig med at man fjerner vegetationen og dermed næringsoptag fra jorden, rapporterer Härdtle m.fl. (2009) om meget lille udvaskning og ubetydelig i forhold til næringsstoffjernelsen ved afbrændingen. Det kan skyldes, at forkullet biomasse har en god evne til at binde næringsstoffer (Lian & Xing, 2017).

Tabel 5. Estimer for fjernelse af kvælstof og fosfor ved afbrænding samt kort oversigt over potentielle uønskede virkninger og risici.

Naturtype	Kvælstof		Fosfor		Kommentar Se uddybning i teksten	Reference	Risici, uønskede virkninger Se uddybning og referencer i tekst
	Kg/ha	Kg/ha/år	Kg/ha	Kg/ha/år			
Overdrev/hede	106	10,6	1,9	0,2	I 10-års cyklus	Härdtle m.fl. 2006; 2009	<ul style="list-style-type: none"> • Vi ved meget lidt om effekterne af afbrænding på bl.a. faunaen. • Afbrænding af heder er taget til de seneste år og der er behov for undersøgelse af deres effekt på insekterne. • Kan fremme tilgroning med løvtræer som birk og hæg • Kan fremme forekomsten af gyvel
Tør klithede (naturlig brand)	1000		32		Vegetation og morlag	Vestergaard & Alstrup 1996	
Fugtig klithede (naturlig brand)	1660		40		Vegetation og morlag	Vestergaard & Alstrup 1996	
Våd klithede (naturlig brand)	630		27		Vegetation og morlag	Vestergaard & Alstrup 1996	

Afbrænding kan også foretages, så den går ned i tørvelaget og dermed fjerner N svarende til en tørveskrælning. Metoden er interessant, da det har været foreslået at foretage gennemgribende pleje (nulstilling af vegetation og jordbund) i småskala mosaik efterfulgt af en længere succession for at få maksimal variation i naturområder (Odgaard 2015; Schmidt 2015). Det er ikke udført eksperimentelt, men i 1992 brændte 175 ha klithede i Hanstedreservatet ned til mineraljorden. Lige efter branden blev der etableret permanente felter og tab af biomasse, N og P blev fulgt i tre hedetyper (Tabel 5; Vestergaard & Alstrup, 1996). N-fjernelsen var hhv 1000, 1660 og 630 kg N/ha i tør, fugtig og våd hede. På den fugtige hede i Hanstedreservatet er det samlede tab af N sammenligneligt med N-fjernelse ved tørveskrælningen på Lüneburger Heide.

Afbrænding sker oftest i marts, hvor den stedsegrønne lyng har en del grøn biomasse og relativ høj næringskoncentration i løvet sammenlignet med de græsser, man gerne vil til livs. Græssernes biomasse er ofte nede omkring 10 % af sommerbiomassen og N og P koncentrationerne er meget lave

(Aerts 1989). Selv om lyngen mister relativt mere biomasse og næringsstoffer, er der også en række fordele for lyngen. Den kan forynge sig fra underjordisk biomasse og dens frøspiring fremmes af afbrændingen.

Effekt på naturkvalitet og risici

Afbrænding har en tydelig positiv effekt på hedelyng og hedens tilknyttede urter, men det er et voldsomt indgreb overfor dyr i vegetationen og i jorden. Skaderne på dyr afhænger af brandintensitet og jordtemperaturen. Afbrænding sker af hensyn til brandfare og fauna i det tidlige forår, hvor morlaget på heden er vådt og dyrene ikke er aktive endnu. Det giver en mindre fjernelse af N end ved ikke tilsigtede brande, der ofte opstår om sommeren, hvor næringsindholdet i løvet er højere og tørvelaget tørt, så det kan brænde med jfr. branden i Hanstedreservatet i 1992 (Vestergaard & Alstrup 1996). På Randbøl Hede har man i forbindelse med Life-Hede projektet foretaget gentagne afbrændinger og har forvandlet heden fra en blåtopdomineret hede til en hede med større andel af hedelyng og urter. Der er behov for at følge op på disse tiltag. Desuden er erfaringerne (Claus Simonsen, NST Trekantsområdet, pers. komm.), at ilden springer og at der er ikke brændte områder i en småskala mosaik, der vil tilgode se dyrene. Generelt ved vi dog meget lidt om plejens påvirkning af f.eks. insektfauna.

Flere undersøgelser viser, at en større andel af N end P og kationer forsvinder ved brand (Vestergaard & Alstrup 1996; Diemont 1996; Niemeyer m.fl. 2005). Det skyldes overvejende atmosfærisk frigivelse af NO_x, hvorimod en større del af P og kationer bliver i asken. Dermed kan afbrænding mindske N:P rationen i jorden, hvilket vil være til gavn for en del af hedens organismer (Vogels m.fl. 2013). Umiddelbart efter branden vil der dog være en periode, hvor tilgængeligheden af uorganisk N og P er øget, og det er forventeligt at koncentrationen i planterne stiger tilsvarende, som observeret efter brand på Trehøje Hede (Serrano, 2015). Koncentrationen for N i årsskud af hedelyng efter brand stiger kortvarigt til over grænseværdien for gunstig bevaringsstatus på 14 mg/g (Nygaard m.fl. 2014), men er ikke et længerevarende problem. Selv om vegetationen fjernes ved brand og store mængder næring frigives, sker der ikke en tilsvarende stor udvaskning af N (Härdtle m.fl. 2006; 2009).

En fordel ved brand som plejemetode er, at mikrotopografien ikke påvirkes som ved slåning (se senere). I områder med den kvælstoffikserende gyvel er der observeret stor fremspiring og vækst efter brand. Sandsynligvis fordi den har en konkurrencefordel som kvælstoffikserende plante ved frigivelse af P og kationer ved brand, men det er ikke undersøgt. Nåletræerne går til grunde ved

afbrænding, hvorimod løvtræerne ligesom hedelyngen kan skyde igen efter brand. Derfor er det anbefalet at lave opfølgende pleje med f.eks. ekstensiv græsning. Tilgroning med træer og buske betyder ofte, at især hederne kategoriseres som stærkt til moderat ugunstig bevaringstilstand. Især birk spirer efter brand og der vil ofte være behov for en opfølgende græsning for at holde området åbent til lyngen igen lukker af for trævækst (Kepfer-Rojas m.fl. 2014). En del steder ønsker man en vis andel af træer og buske på heden for at skabe variation af levesteder for planter og dyr, ligesom hjortevildtet foretrækker heder med adgang til skjul i form af holme af træer. Hederne er vigtige græsningsområder for hjortevildtet vinter og forår.

Slåning

Græsning har været den hyppigste form for udnyttelse af biomassen fra de lysåbne arealer, men efterhånden er hovedparten af de græssende dyr forsvundet fra landskabet og slåning er blevet mere hyppig. Slåning er dog ikke en ny plejeform, idet heder og enge også tidligere har været slået. Det har dog været en ekstensiv form uden gødskning og med høslæt vha. af små hestetrukne maskiner, og senere med små traktordrevne maskiner til slåning, sammenrivning og presning af høet. Det antages, at høslæt med fordel kan anvendes på ca. 150.000 ha eller godt 40 % af §3 natur (Nygaard m.fl. 2012; Tabel 1).

Høslæt sker ifølge Nygaard m.fl. (2011) fortrinsvis på enge og andre vedvarende græsarealer, der er påvirkede af tidligere dræning og gødskning, og ved anvendelse af store landbrugsmaskiner. Slåning ser dog også ud til at være almindeligt anvendt plejemetode på hede, men der foreligger ikke en opgørelse over anvendelsen af slåning på hede. Til gengæld bliver slåning kun undtagelsesvis brugt på de vådeste enge og moserne. Der har dog været en række forsøg og praktisk afprøvning af maskiner, der kan arbejde på blød bund bl.a. i projektet *Naturpleje som driftsgren* (Naturstyrelsen 2016). Slåning af naturområder kan foregå relativt ekstensivt med le, eller der kan bruges lette maskiner, der svarer til slåning med le i intensitet, op til mere intensiv slåning med store kraftige maskiner som skivehøster og rotorhøster. På tilgroede arealer anvendes slagleklippere, der fjerner vegetationen og dele af topjorden, hvor den hæver sig op. Slåning af naturarealer skal følges op af fjernelse af biomassen for at skabe lys til rosetplanter og andre laverevoksende urter og hindre afgivelse af næringsstoffer fra det høstede materiale.

Enge dækker en stor variation af naturområder på fugtig til våd bund og fra sure næringsfattige kær til rigkæret. De kan være stærkt påvirkede af drift herunder udsåning af kulturplanter og tidligere dyrkninger til områder, der aldrig har været under plov. Disse forskellige faktorer er afgørende for potentialet for N-fjernelse i naturtyperne.

N-fjernelse

Slåning fjerner ca 70 % af den overjordiske biomasse (Nygaard m.fl. 2011). Næringsfjernelsen er afhængig af, at det høstede materiale fjernes hurtigt fra arealet, idet en del af næringsstofferne i den høstede biomasse kan udvaskes med regn. Det er en væsentlig faktor at indregne, da der kan være ønske om at lade høet blive på arealet og smide frø, inden det fjernes. Næringsmængden, der fjernes ved slåning, er en del højere end ved græsning, medmindre dyrene fjernes fra arealet om natten. I den absolut lave ende af N-fjernelse finder vi slåning af græsdomineret hede, eng og moseområder om vinteren, hvor der er meget lidt grøn biomasse f.eks. 50 g/m² og meget lavt N indhold i vinterbiomassen f.eks. 0,6 %, hvilket svarer til en N-fjernelse på 3-5 kg N/ha. Samme lave niveau er målt i Lille Vildmose (Rita Buttenschøn, pers. meddelelse) og på græshede i Danmark (Schmidt upubli-ceret) og blåtophede i Holland (Aerts 1989; Tabel 6). Høst om vinteren vil derfor have minimal effekt på N-puljen. Biomassen og N-indholdet stiger frem til et maksimum i juni eller juli alt efter artssammensætning og blomstring af de dominerende græsser. Akset indeholder betydelig højere koncentration af næringsstoffer (Kongstad Pedersen 2006) og slåning under græssernes blomstring vil fjerne den maksimale mængde N i græsdominerede samfund. Eksempelvis blev der ved slåning på Lüneburger Heide fjernet 100 kg N/ha og ca 8 kg P/ha, hvilket er sammenlignelige mængder N som ved afbrænding. Tilsvarende blev der fjernet 105 kg N/ha efter slåning af hede i England (Power m.fl. 2001) og på heder i Danmark (Tabel 6). Fjernelse af N ved slåning på intakt hedelyng domineret hede virker forholdsvis konsistent.



Maskinslåning på Kongenshus Hede i 2016 (Foto: Per Gundersen).

Tabel 6. Næringsindhold i overjordisk biomasse som estimat for potentiel fjernelse af kvælstof og fosfor ved slåning (høslet og maskinslåning) samt kort oversigt over potentielle uønskede virkninger og risici.

Naturtype	Kvælstof		Fosfor		Kommentar	Reference	Risici, uønskede virkninger
	Kg/ha	Kg/ha/år	Kg/ha	Kg/ha/år			
Hede	100	10	<8	<0,8	Slåning hvert 10. år	Härdtke m.fl. 2006	<ul style="list-style-type: none"> • Homogenisering ved maskinslåning, tab af mikrotopografi • Ubalance i næringsstoffer ved for stor fjernelse af fx P. • Slåning om sommeren vil fjerne relativt mere næring og mere P and N • Slåning af store arealer vil homogenisere vegetationen • Påvirkning af dyrelivet
Tør hede	27		1,2		Beregnete mængder baseret på fjernelse af overjordisk biomasse i Hanstedsreservatet.	Vestergaard & Alstrup 1996	
Fugtig hede	32		1,1			Vestergaard & Alstrup 1996	
Våd hede	47		0,8			Vestergaard & Alstrup 1996	
Hede	106	10	11	1	Jægerspris; slåning hvert 10. år	Schmidt & Gundersen (upubliceret)	
Hede	120	12	10	1	Mols; slåning hvert 10. år	Schmidt & Beier upubliceret	
Hede	40	4	3	0,3	Som ovenfor, efter lyngbladbilleangreb		
Hede	135		5,4		Gammel hedelyng	Aerts 1989	
Hede	89		3,5		Ung hedelyng	Aerts 1989	
Hede	134		3,4		Gammel blåtop	Aerts 1989	
Hede	82		2,1		Ung blåtop	Aerts 1989	
Hede	2,5		0,06		Vinter biomasse	Aerts 1989	
Hede	130	6,5	9,6	0,5	Slåning hvert 20. år	Blindow m.fl. 2017	
Overdrev		3-4		0,5-1,8		Nielsen 2016	
Overdrev	82				Næringsfattigt, NL	Bakker m.fl 2002	
Overdrev	113				Næringsfattigt,NL	Bakker m.fl 2002	
Fersk eng	140		20		To slæt, i mosebunke	Nielsen, 2012	
Fersk eng	60		5		To slæt, i lysesiv	Nielsen, 2012	
Våd eng, lav veget.	140	14	19	2	Tidvist våd næringsrig eng	Neuenkamp m.fl.2013	
Våd eng, høj veget.	165	17	25	2,5	Tidvist våd næringsrig eng	Neuenkamp m.fl.2013	

Vegetationssammensætningen har stor betydning for hvor meget N, der fjernes ved slåning. Nielsen (2012) fjernede 140 kg N/ha med slæt i mosebunke mod 60 kg N/ha med slæt i lysesiv. N-fjernelsen på hede med hhv. blåtop og hedelyng var dog den samme, hvorimod den høstede blåtopbiomasse havde betydeligt lavere P-indhold (Aerts, 1989). Her var der dog markant forskel på N-fjernelse afhængig af alderen på vegetationen. N-fjernelse ved slåning kan efterhånden falde, hvis næringsfattige områder udsættes for årlig tilbagevendende slåninger (Nielsen 2012), hvad enten det er med le eller maskine. I Holland blev tidligere gødskede græsarealer på næringsfattig sandjord slået årligt gennem 24 år. Første år blev der fjernet 82 kg N/ha og 113 kg N/ha ved slåning én eller to gange årligt i juli og september. Efter 8 år med årlig slåning var N-fjernelsen faldet til 108 kg N/ha og efter 24 år var N-fjernelsen kun 51 kg N/ha (Bakker m.fl. 2002). Det skyldes udelukkende et fald i høstudbyttet, da N-koncentrationen i biomassen var den samme eller stigende, hvilket kunne tyde på, at andre næringsstoffer end N er begrænsende for plantevæksten. N-fjernelse ved slåning på østdansk hede på Mols og ved Jægerspris var også ca. 100 kg N/ha i henholdsvis 2003 og 2004. Udbyttet faldt til det halve efter skader på vegetationen i forbindelse med barfrost i 2011 og 2013. Biologisk giver det mening at slå hederne, efter at lyngen er frostskaadet, da det vil fremme foryngelse eller frøspiringen af lyng, men i forhold til at optimere N-fjernelsen er N-fjernelsen størst, hvis vegetationen er intakt. I den anden ende af skalaen ligger de våde, næringsrige enge og moser. I et forsøg i Estland med slåning flere gange årligt af næringsrig tidvis oversvømmet eng med hhv. lav halvgræsvegetation og høj staudesamfund, blev der ved slåning fjernet 140 kg N/ha og 165 kg N/ha (Neuenkamp m.fl. 2013).

Effekt på naturkvalitet og risici

Der er mange studier, der påviser en stigning i den floristiske diversitet efter slåning (Bakker m.fl. 2002; Neuenkamp m.fl. 2013), da heder, enge og moser langsomt gror til og bliver for tætte for rosetplanter og lavere voksende urter. Slåning anbefales dog ikke på naturarealer med høj naturtilstand, hvor den strukturelle heterogenitet er høj med f.eks. sten, tuer og knolde (Nygaard m.fl. 2011). Det kan f.eks. være strandenge og overdrev med gul engmyre, der ikke tåler slåning (Buttenschøn 2007). Nielsen (2012) vurderer, at slåning af heder skal foretages som en engangspleje og på mindre arealer eller med lang tid mellem slåningerne, så der bibeholdes en varieret aldersstruktur af hensyn til insektfaunaen. Hederne kan i stedet afbrændes ved lave temperaturer i det tidlige forår eller ekstensiv græsning anbefales, da en varieret mikrotopografi kan opretholdes.

Det anbefales ikke at slå før sent i juni af hensyn til ynglefugle og kommer vi hen efter august, får de grove græsser mere tid til at akkumulere biomasse. Der er dog stor forskel på resultatet alt efter tidspunktet for slåning. Mange græsser og urter blomstrer i juni, men det er også her, at N-koncentrationen og biomassen af græsserne er størst og dermed potentialet for N-fjernelse. Derfor kan det anbefales, at man starter slåning i slutningen af juni på mindre dele af arealet og fortsætter i en mosaik. Dermed skabes der størst mulig variation og mulighed for alle arter at blomstre og sætte frø.

På hederne er der de seneste år brugt f.eks. lynghøster, som kan slå store arealer på kort tid. Det resulterer ofte i monokulturer af lyngmarker. Desuden udjævner de store maskiner jorden, så den mikrotopografiske variation mindskes jf. billederne fra Kongenshus og Hjelm Hede.



Maskinslåning på Hjelm Hede. Heden har været slået ca. hvert 7 år (Foto: Inger Kappel Schmidt).

Slåning fjerner fra ca 50 – 150 kg N/ha. Sammen med N fjernes også P og kationer, hvilket kan medføre en nærings-ubalance, da de ikke på tilsvarende vis erstattes af en høj deposition med undtagelse af kationer i kystnære områder (Pedersen m.fl. 2001). Hvis man kigger på det langsigtede forsøg fra Holland (Bakker m.fl. 2002) falder høstudbyttet fra år til år, men N-koncentrationen er den samme eller højere, hvilket tyder på, at andre næringsstoffer er blevet begrænsende for plantevæksten. Sandsynligvis er det primært et problem på de sure næringsfattige sandede jorde, hvor bufferkapaciteten er lav og specielt i Holland, hvor depositionen er betydeligt højere end i Danmark. Der mangler dog tilsvarende forsøg fra enge i Danmark på tværs af næringsgradienter. Forsøget fra Estland er lavet på næringsrig tidvis oversvømmet eng. Her nævner forfatterne specifikt, at der ikke er problemer med næringsstofferne og NP ratioen i biomassen er dog også lav, dvs <10 .

Tørveskrælning

Skæring af tørv har tidligere været almindeligt i alle naturtyper, hvor der bliver dannet et tørvelag. Det har været på hederne, hvor dværgbuskenes svært nedbrydelige førne resulterede i dannelse af et tørvelag og i de fugtige jorde, hvor omsætningen af organisk stof går langsomt pga. iltfattige forhold. Tørven blev brugt i husholdningen som brændsel, til bygning af gærder eller til byggematerialer, hvis der ikke var træ til rådighed. I hedebruget blev tørveskrælning udført hvert år, men på en meget lille del af heden på f.eks. 1 ha, så der kunne gå fra 50 år til flere århundrede mellem tørveskrælinger på et givet areal (AmphiConsult og Degn, 2016; Riis-Nielsen m.fl. 1991).

Tørveskrælning er den mest drastiske plejemetode, idet den fjerner hele vegetationen og dele eller hele det organiske lag, hvorved vegetationen nulstilles og der efterlades et såbed af mineraljord. Tørveskrælning er kun sporadisk brugt i Danmark som plejemetode og det er næsten udelukkende på heder, at metoden er brugt. Der findes ingen opgørelse over, hvor man med fordel kan anvende tørveskrælning.

I Holland er det udbredt med tørveskrælning og det fjernede materiale bliver brugt til jordforbedring på nærliggende landbrugsarealer. Enkelte gange er en maskine lånt i Holland og der er som forsøg høstet biomasse og morlag på arealer i Danmark f.eks. Randbøl Hede og Harrild Hede. Begge steder drejede det sig om heder groet til med blåtop. I forbindelse med LIFE-hede projektet er der eksperimenteret med lettere maskiner og delvist afskrælning, så resultatet er en mere varieret struktur.

N-fjernelse

Fjernelse af N ved tørveskrælning er målt i et omfattende forsøg på Lüneburger Heide i Nordtyskland. N-fjernelse ved tørveskrælning kan dog beregnes ud fra kendskab til N-puljen i biomassen og øverste jordlag, da det hele fjernes ved tørveskrælning. I forsøget på Lüneburger Heide blev der fjernet over 1700 kg N/ha. I det tyske forsøg regner man med en skrælningsfrekvens på 30 år. Det svarer ikke til de historiske registreringer af tørveskrælinger, der snarere anslår, at det skete med en frekvens på måske >200 år (Riis-Nielsen m.fl. 1991). Samtidig foregik det med håndkraft og gav et mere heterogent resultat. Tager man data fra undersøgelserne i Hansted reservatet og beregner N-puljen i vegetation og organisk lag i tør, fugtig og våd hede, vil en tørveskrælning i disse områder fjerne hhv. 1000, 1400 og 1500 kg N/ha. Det svarer til N-fjernelse ved tørveskrælning i græsbevokset klithede i Holland (Van den Berg m.fl. 2014) og fra hede i nordøstlige Tyskland (Blindow m.fl. 2017).

Tabel 7. Estimer for fjernelse af kvælstof og fosfor ved tørveskrælning samt kort oversigt over potentielle uønskede virkninger og risici.

Naturtype	Kvælstof		Fosfor		Kommentar	Reference	Risici, uønskede virkninger
	Kg/ha	Kg/ha/år	Kg/ha	Kg/ha/år	Se uddybning i teksten		Se uddybning i teksten
Tør hede	1716	57	76	2,6	Lüneburger Heide. Ved tørveskrælning hvert 30. år	Hårdtle m.fl. 2006	<ul style="list-style-type: none">• Homogenisering af jordoverflade og vegetation• Fjernelse af en stor P og kation pulje• Fjernelse af insekter og padder og deres levested i en årrække• Kolonisering med den invasive mos <i>Campylopus introflexus</i>• Nitratudvaskning ved fortsat høj N-deposition, idet de mikroorganismer der immobiliser N vil mangle kulstof
Tør klithede	1010		40		Beregnete mængder, hvis vegetation og morlag var fjerne	Vestergaard & Alstrup 1996	
Fugtig klithede	1400		41		i Hansted reservatet i stedet for brand.		
Våd klithede	1520		29				
Klithede	1214	30	73	1,8	Nordøst Tyskland, tørveskrælning hvert 40. år	Blindow m.fl. 2017	

Effekt på naturkvalitet og risici

Tørveskrælning er et voldsomt indgreb, da det nulstiller et område, dvs. fjerner vegetation, organisk stof og frø, så der kun er den blottede mineraljord, hvor en ny succession kan starte. Dog er hedelyngens frø meget små og vil synke ned ad i jordprofilet og spire ved blotlæggelse af sandet. Desuden har frøet en lang levetid (Granström 1988) og ved tørveskrælning på Randbøl Hede blev der hurtigt etableret en vegetation af hedelyng. Tørveskrælning vil generelt gavne hedens pionerarter, og heriblandt en del af laverne, men det skaber også en ensartet hedelyngsvegetation. Det anslås at et tørveskrællet område først vil opnå en varieret vegetationsstruktur efter 20-30 år (AmphiConsult og Degn, 2016). På et ca. 1000 m² skrællet areal på Randbøl fandt man således 36 % af hedens registrerede laver efter få år (AmphiConsult og Degn 2016). Omvendt bliver den eksisterende vegetation og det organisk lag fjernet og med det alle de tilknyttede insekter. Vi har ikke kunnet finde oplysninger om effekterne af tørveskrælning på f.eks. insekter og padder. Blindow m.fl. (2017) rapporterer om kolonisering med høj densitet af den invasive mos *Campylopus introflexus* efter tørveskrælning. Det kan hæmme indvandring af andre pionerarter betragteligt.

Baseret på erfaringerne fra LIFE-Hede projektet anbefales det at arbejde med mere skånsom og varieret afskrælning, hvor der kun afskrælles ned til mineraljorden på ca. 50 % af arealet for at

bevare flere af hedens arter. Desuden anbefales det at køre udenom arter, man ønsker at bevare. Det kræver dog en stor viden eller grundige instrukser til entreprenøren.

Foruden en meget stor N-fjernelse, fjernes der også en stor del af P puljen fra jorden. Der mangler solide undersøgelser over, hvad det betyder for næringsstofbalancen på længere sigt. Umiddelbart vil en intensiv brand ned til mineraljorden på mindre områder tilsvarende blotte mineraljorden, men samtidig opretholde en bedre N:P:Kation balance end ved tørveskrælning. I Holland eksperimenterer man i øjeblikket med tilførsel af stenmel for at tilbageføre mineraler til tørveskrællede områder (Smits, 2015). Fjernelse af tørvelaget vil fjerne en meget stor del af jordens kulstofpulje. Dermed vil jordens evne til at tilbageholde N være reduceret. Härdtle m.fl. (2009) finder da også signifikant højere udvaskning efter tørveskrælning på hede på 4 kg N/ha/år, men ingen forhøjet udvaskning af P.



Tørveskrælning i Holland (Foto: Inger Kappel Schmidt).

Sammenfatning og diskussion

I tabel 8 er givet en opsummering af de indsamlede data for fjernelse af N (og P) ved forskellig naturpleje. Værdierne for årlig N-fjernelse kan bruges til at sammenligne med den totale deposition, som naturarealerne modtager fra luften. Nogle af estimerne bygger på forholdsvis få observationer og forsøg, som kun i enkelte tilfælde er sammenlignet indenfor samme lokalitet. Derfor har estimerne en usikkerhed, som ikke for nuværende kan kvantificeres. Har naturarealer været uden, eller haft mangelfuld pleje, vil der være en betydelig ophobning af materiale, der i forbindelse med førstegangspleje vil resultere i en betydelig større N-fjernelse end den, der kan forventes ved gentagen pleje.

Naturpleje ved høj N-belastning

Overordnet kan vi konkludere, at græsning er den pleje, der fjerner mindst kvælstof fra arealet og dermed ikke er egnet til alene at nedbringe kvælstofpuljerne i systemet. Dog kan man ved at lade dyrene overnatte udenfor naturområdet øge N fjernelsen betydeligt, men dette vil kræve en stor arbejdsindsats eller udvikling af nye praktiske løsninger. Græsning kan kombineres med anden pleje, hvor f.eks. træer og buske samt højt voksende græsser og urter som lysesiv, ager tidsel m.v. fjernes med mellemrum, hvilket vil øge N-fjernelsen. Dette vil også ofte være aktuelt, da græsning ikke kan hindre tilgroning med træer og buske. Afbrænding kan fjerne mere N end græsning og mængden kan øges ved at øge frekvensen f.eks. ved årligt at afbrænde mindre dele af arealet. Slåning og tørveskrælning kan fjerne det samme eller mere kvælstof end de lysåbne naturtyper modtager som N-deposition og kan derfor kompensere for kvælstofbelastningen. Disse to mere drastiske metoder, der praktiseres med tillempede landbrugsmaskiner, har dog umiddelbart væsentlige negative effekter på insekter og andre dyr. Selv om tørveskrælningen kan have en positiv virkning på en del af hedens organismer (laver og hedelyng), er det bekymrende, at vi ikke kender kort- og langtidseffekten på faunaen. Ved slåning og tørveskrælning fjerner man også store mængder af andre næringsstoffer end N, især fosfor og basekationer, hvilket kan medføre en ubalance i næringsstofsammensætningen. Vi har ingen danske erfaringer med langtidspåvirkning af jordbund og næringsstofbalancer fra disse plejemetoder. Desuden betyder arbejdet med maskinerne en homogenisering af naturarealet, idet mikro-topografi og anden variation udjævnes. Der er således et 'trade-off', hvor den højeste kvælstoffjernelse ved slåning eller tørveskrælning opnås med omkostninger i form af homogenisering, risiko for ubalance i næringsstofsammensætningen og mulige skader på fauna.

Tabel 8. Estimer (afrundede) for fjernelse af kvælstof og fosfor med biomasse ved forskellige plejemetoder baseret på indsamlede data i tabel 4-7 samt en anslået årlig kvælstoffjernelse ved en given frekvens af plejen.

Opsummering	N-fjernelse Kg N/ha	P-fjernelse Kg P/ha	Årlig N fjernelse Kg N/ha/år	Mulig realistisk frekvens og kommentarer hertil
Græsning				
· Almindelig	4-10	<1	5	Kontinuerlig, årlig.
· Hyrdegræsning	10-25	1-2		Kan øges med hyrdegræsning en periode.
Afbrænding				
· Vegetation.	100	2-3	7-10	Med 10-15 års mellemrum.
· Incl. morlag	600-1600	30-40		Naturlige brande, hvor morlaget også brænder. Sker med meget lavere frekvens.
Slåning				
· Klithede	30-50	1	3-5	Årligt på eng og overdrev, men med 10-15 års mellemrum på hede og klit.
· Hede	80-130	2-10	8-10	
· Overdrev	80-120	?	50	Bemærk at ikke hele biomassen bliver fjernet; andelen der fjernes vil afhænge af metode og maskiner.
· Fersk eng	60-140	5-20	100	
· Våd eng	140-165	20-25	120	
Tørveskrælning				
· Hede	1000-1700	30-80	10-20	Antaget at dette kunne ske med 100 års frekvens

Nødvendigheden af naturpleje i sammenhæng med høj kvælstofbelastning udgør en væsentlig diskussion internationalt i forhold til implementeringen af Habitatdirektivet (Schoukens, 2015; 2017). Naturpleje som virkemiddel i denne kontekst har især været diskuteret i Holland (Alterra, 2012). I forbindelse med en litteratursammenstilling i tidskriftet Biological Conservation (Jones m.fl. 2017), om mulighederne for at modvirke effekterne af den høje kvælstofbelastning af lysåben natur ved at intensivere pleje, påpegede en række belgiske forfattere (Maes m.fl. 2017), at der mangler viden om plejens påvirkning af faunaen. Man ved en hel del om virkningen på flora, men meget lidt om konsekvenserne af afbrænding, slåning og tørveskrælning for insekter og andre dyr.

Udenlandske studier med sammenligning af forskellige plejemetoder indenfor samme område (Härdtle m.fl. 2009; Blindow m.fl. 2017) og sammenstilling af litteraturen (Jones m.fl. 2017) peger på, at de bedste resultater for artsdiversiteten under høj kvælstofbelastning kan opnås ved at kombinere græsning og mindre intensiv slåning eller fjernelse af træer og buske med mere intensive metoder som afbrænding, slåning og tørveskrælning på mindre områder. Ved kun at anvende de intensive metoder på mindre områder indenfor et naturareal understøtter man diversiteten. Afbræn-

ding er den plejemetode, der kan fjerne mest N uden at give anledning til ubalance i næringsstofsammensætningen.

Faktorer af betydning for N-fjernelse

Fjernelse af N fra naturarealer ved slåning og afbrænding er overvejende en funktion af mængden af overjordisk plantebiomasse og næringsstofkoncentrationen i denne biomasse. Begge dele er afhængige af jordtype, driftshistorie samt ikke mindst tid på året, hvor plejen foretages. Generelt øges produktiviteten fra de tørre heder og overdrev til de fugtige enge og dermed kan der fjernes mere N fra enge end fra heder og overdrev. Tilsvarende er N-fjernelsen størst på de fugtige områder indenfor hederne, men bliver der meget vådt, kan produktiviteten falde, som det ses i data fra Høstedsreservatet (Vestergaard & Alstrup, 1996). Særlig høj produktion er der på enge, der oversvømmes tidvist (Neuenkamp m.fl. 2013). Fjernelse af N ved græsning er også en funktion af produktiviteten på et areal, når græsningstryk og græsningsperiode er tilpasset foderproduktionen. Tørveskrælning vil bl.a. være en funktion af skrælningsdybde i jorden, da hovedparten af næringsstofferne er ophobet i jorden.

Hvis det eneste formål med en given naturpleje var at fjerne næringsstoffer, ville det ideelle tidspunkt for pleje være i juni-juli måned, når flest mulige næringsstoffer er bundet i den overjordiske biomasse, hvilket er, når de dominerende arter blomster. Sommergræsning vil derfor fjerne mest N. Det gælder dog ikke altid arealer domineret af stedsegrønne dværgbuske, som har en relativ konstant biomasse og næringsindhold over året (Aerts, 1989). Det er dog oftest andre hensyn end N-fjernelse, der afgør plejetidspunkt. Afbrænding skal foretages inden 1. april af hensyn til brandfare og dyrelivet. Tørveskrælning fjerner både vegetation og tørvelag og dermed de fleste organismer, så der er ikke et ideelt tidspunkt udover at undgå yngleperioden for f.eks. fugle.

Lokal tilpasning af naturplejen

De lysåbne naturtyper er afhængige af pleje. Når man skal evaluere de enkelte plejemetoders egnethed på forskellige naturtyper, er der tre krav, som de skal opfylde. De skal ifølge Buttenschøn (2010) kunne: i) vedligeholde – eller genskabe – et naturligt (lavt) næringsstofniveau; ii) skabe og vedligeholde levesteder for lyskrævende arter; hæmme tilgroning, skabe egnede lys- og strukturforhold mv.; og iii) skabe og vedligeholde levesteder for særligt følsomme arter.

I en vurdering af plejemetodernes egnethed i konkrete tilfælde vil man skulle vurdere, om den nuværende pleje opfylder målsætningen for området eller der er behov for yderligere pleje. I lyset af

denne vurdering skal der laves en konsekvensvurdering af en øget belastning og om der kan gøres noget ekstra for at fraføre N fra arealet uden at kompromittere målsætningen for området. Forskellig pleje skaber forskellige forhold for planter og dyr. Kontinuitet i naturplejen er en væsentlig parameter for at beskytte de særlige strukturer, der udvikles ved netop den plejemetode. Langsigtede forsøg med græsning på tidligere gødsket eller ikke gødsket eng, næringsfattigt overdrev og hede på Mols viser en kontinuerlig stigning i artstætheden af karplanter efter græsning blev startet i 1973 (græsmark/overdrev) og 1985 (eng og græsdomineret hede) (Buttenschøn 2007; 2010). Buttenschøn (2007) nævner dog også, at det specifikt gælder overdrev og enge, hvor artstætheden stiger med kontinuiteten i plejen, mens hederne ikke i samme grad er afhængige af græsning eller kontinuerlig drift. Man ser netop også variation i benyttede plejemetoder på hederne. Dræning af lavbundsarealer i Danmark har historisk omsat metertykke tørvelag og frigivet en meget stor N-pulje. Vi har ikke berørt muligheder for at tilbageholde mere kvælstof ved binding af N i tørv gennem ændringer i hydrologien, men det kunne være interessant at afsøge potentialet for binding af N (og kulstof) i tørv med ændret hydrologi i lavbundsområder.

Del II: Forskningsprogram - forslag

For at forbedre grundlaget for beslutninger om naturpleje og acceptable N-belastning er det nødvendigt at udvikle metoder og redskaber til konsekvensvurdering på lokalitetsniveau. Dette kunne f.eks. tage udgangspunkt i den multikriteriemetode til evaluering af bevaringsstatus på biogeografisk niveau, der er blevet arbejdet med for rapportering af bevaringsstatus i.f.t. Habitatdirektivet (Nygaard m.fl. 2014). Vidensgrundlaget hertil er især spinkelt m.h.t. interaktionen mellem pleje og N-deposition. Internationalt findes ganske få eksperimenter med kombinationer af pleje og N-tilførsel og data herfra er ofte blot fra ganske få år umiddelbart efter at behandlingen var påbegyndt eller data er ikke publiceret i tilgængelig form.

Viden om kvælstofs effekter på natur bygger især på det internationale arbejde med tålegrænser i UN-ECE-regi. Hvorimod der er meget begrænset dokumentation af kvælstofs påvirkning af naturkvaliteten lokalt i Danmark. For at bidrage blandt andet med viden og dokumentation om kvælstofs påvirkning af lysåben natur og skove har Aage V. Jensens Naturfond (AVJN) støttet et samarbejdsprojekt (2017-2021) mellem Aarhus og Københavns Universiteter (*Balance i naturens kredsløb - forvaltning af kvælstoffølsom skov og lysåben natur*). Dette projekt har kun i begrænset omfang fokus på effekten af pleje, men giver et godt grundlag for det videre arbejde.

De fleste undersøgelser af plejemetoders effekt på biodiversiteten er baseret på undersøgelser af den floristiske diversitet. Den direkte og indirekte effekt af naturpleje på faunaen er yderst begrænset til ikke-eksisterende. Med henblik på at evaluere effekten af forskellige plejetiltag på flora og fauna og undersøge alternativer til de gængse hedepleje metoder har AVJN støttet endnu et samarbejdsprojekt (2017-2021) mellem Aarhus og Københavns Universiteter (*Naturlig dynamik i hedeplejen - selv bærende forvaltning*). Projektet har fokus på plejemetoder, der bevarer og understøtter heterogenitet vertikalt og horisontalt til gavn for en divers flora og fauna som vand i landskabet, veludviklet mikrotopografi og varieret vegetationsstruktur. I projektet indgår målinger af dominerende plantearters N og P koncentrationer i årsskud som fødegrundlag for herbivore insekter. Denne del kan med fordel udvides til andre naturtyper, se nedenfor.

Vi foreslår igangsæt et antal projekter, der er formuleret nedenfor. Der er ikke tale om en prioriteret rækkefølge og de nævnte budgettal er løse overslag for at indikere omfanget.

Projekt 1: Anvendte naturplejemetoder (spørgeskemaundersøgelse)

Indledningsvist vil det være godt med en undersøgelse af, om der er sket et skifte i benyttelsen af de forskellige plejemetoder. Det er vores indtryk, at slåning med større maskine som lynghøsteren benyttes oftere end tidligere, i hvert fald på hederne. Desuden er der de seneste år opbygget kompetence i forhold til afbrænding. Større arealer på både indlandsheder og klitheder afbrændes nu i højere grad, end vi tidligere har set, men omfanget er ikke kendt. Denne vidensopsamling kan laves som en spørgeskemaundersøgelse. Nygaard m.fl. (2012) fokuserer på græsning og høslæt, men det er vores umiddelbare opfattelse, at afbrænding kunne spille en større rolle, som et middel til at fjerne N og åbne vegetationsdækket.

0.1 mill.

Projekt 2: Undersøgelse af alternative plejemetoder

Baseret på LiDAR data fra kortlag over vegetations- og landskabsstrukturer (fra laserskanning af hele Danmarks areal i 2014) er det opgjort hvor stort et areal indenfor §3 natur, der er groet til med træer og buske og dermed kan have brug for en indledende pleje/restaurering (tabel 2; Johannsen, 2017). Med 4.6 målepunkter per m² er den horisontale og vertikale præcisionen af disse data meget høj og biomassen og dermed potentialet for N-fjernelse kan beregnes (Nord-Larsen m.fl. 2017). Der vil dog være brug for kemiske analyser af træer i de mindre størrelsesklasser.

0.2 mill.

Projekt 3: Sammenligning af plejemetoder i en N-gradient

Vi har kun lidt viden om sammenhængen (og interaktionerne) mellem N-deposition, forskellig naturpleje og effekten på naturkvalitet. Vi ved ikke hvilken effekt pleje med fokus på at fjerne N har på forsurening, næringsstof støkiometri (N:P:K:Ca:Mg-forhold), og den direkte og indirekte effekt på biodiversitet. Disse sammenhænge kan undersøges eksperimentelt ved at etablere (eller efterligne) forskellig pleje på et naturområde (klit, hede, overdrev eller eng) ved forskellige niveauer af N-deposition (fx høj, medium, lav).

Eksperimentet kan udlægges i en lokal N-gradient (faldende mod et baggrundsniveau) i vindretningen væk fra et husdyrbrug eller væk fra et område med flere husdyrbrug. Alternativt kan man opbygge samme type eksperiment, hvor N blot tilføres kunstigt i forskellige doser. Fordelen ved en lokal N-gradient er, at så har naturområdet været påvirket med forskellige depositions-niveauer i årtier. Dette er væsentligt, idet naturtyperne responderer på akkumulerede puljer af plantetilgængeligt kvælstof så vel som på den aktuelle belastning. Problemet med en lokal N-gradient kan være at få udlagt tilstrækkeligt store felter til at simulere de forskellige typer pleje (græsning, slet, afbrænding). I et specialearbejde (Vilsholm, 2006) er der dokumenteret N-gradienter på to heder hen over områder på adskillige hektar, hvor der ville være plads til at gentage de ønskede plejebehandlinger. Med de seneste modelberegninger af N-deposition på 50x50 m skala (Bak, 2017, personlig meddelelse), vil det være muligt at identificere yderligere et antal potentielle områder. Dette er planlagt i forbindelse med AVJN-projektet *Balance i naturens kredsløb*, men i mindre omfang og alene med fokus på effekten af N-deposition. Undersøgelserne vil have fokus på kemiske indikatorer i planter og jord (støkiometri, puljer og processer), næringsstoffjernelse og effekter på stedbunden biodiversitet (100-200 m² skala). Dette vil kunne udføres som et PhD-projekt.

2.0 mill.

Projekt 4: Næringsstofmanipulation på natur i lav-depositionsområde

Ud over undersøgelser i en N-gradient er det ønskeligt at udføre et manipulationsforsøg med forskellig kombination af N tilført sammen med P og K i et repliceret blokforsøg i et lav-depositionsområde. Dette med henblik på at få mere viden om interaktionen mellem næringsstofferne og identificere indikatorer og tærskelværdier for uønskede ændringer. Dette er planlagt i AVJN-projektet i mindre skala, men forsøget kunne udvides i areal, således at simulering af pleje kan inkluderes i små felter indenfor behandlingerne. Det vil være relevant at sikre en langsigtet opfølgning på

resultaterne af dette forsøg. Vi kan måske genrejse ældre gødningsforsøg på Hjelm Hede og Brandbjerg ved Jægerspris med faktoriel tilførsel af N, P og K, men felterne er for små til at inkludere forskellig pleje.

2.0 mill.

Projekt 5: Undersøgelser af homogenisering m.m. fra plejemetoder.

De fleste naturområder har tidligere været græsset, evt. i kombination med høslæt. Efterhånden er de fleste dyr på stald og en del af de tørre arealer bliver nu plejet med slåning med store landbrugsmaskiner og på store flader på samme tid. Det giver en homogenisering af både vegetation og jordoverflade. Tuer, knolde, sten og myretuer og andre elementer, der tyder på lang kontinuitet af græsning, bliver jævnet og vegetationen har samme højde og for hedernes dværgbuske samme livsfase. Hvis plejen sker som mosaikpleje af små arealer, vil området have en stor strukturel beta-diversitet, men generelt plejes store områder og det kan være katastrofalt for en del insekter knyttet til specifikke strukturer eller livsfaser hos planter og der vil mangle kontinuitet i levesteder for disse organismer. I AVJF projektet *Naturlig dynamik i hedeplejen* vil vi evaluere forskellige plejemetoders effekt på vegetationsstrukturer og mikrotopografien. Specielt vil vi undersøge hedeplejens påvirkning af myresamfundene og den heterogenitet en veludviklet myrefauna giver mht. næringsstoffer og mikroklima. Det vil være relevant at undersøge det samme på andre naturtyper. Enten i samlokaliserede enge med hhv. græsning og slåning eller følge eventuelle strukturændringer ved overgang til anden plejemetode med gode baseline registreringer. Tørveskrælning skaber størst homogenisering, men benyttes så lidt, at det måske ikke er relevant at inkludere denne plejeform. Årsagerne til andre uønskede virkninger af plejemetode som f.eks. fremspiring af gyvel efter brand bør også inddrages.

2.0 mill.

Projekt 6: Ubalance i næringsstoffjernelsen.

Den akkumulerede effekt af årtier med forhøjet N-deposition kan ændre jord og planters nærings sammensætning, så N:P forholdet øges. Forhøjet NP ratio i løv kan have direkte negativ effekt på faunaen (Vogel m.fl. 2013) og en mulig indirekte effekt på vegetationen i form af øget risiko for patogen-angreb. Desuden kan det favorisere plantearter, der er tilpasset lav P-tilgængelighed som blåtop med direkte tab af biodiversitet. De enkelte plejemetoder påvirker nærings sammensætningen forskelligt. Afbrænding er således rapporteret at fjerne en relativ større del af N end P og kationer

(Vestergaard & Alstrup, 1996; Niemeyer m.fl. 2005). I AVJF projektet om hedepleje undersøger vi effekten af forskellige plejetiltag på jordens og planternes NP ratio og sammenhængen mellem disse, men der er behov for at udvide disse undersøgelser til andre habitattyper. Bland andet vil det være relevant at sammenligne gentagne slåninger, græsning og kombinationen af de to som naturpleje på enge.

0,5 mill.

Projekt 7: Kvantitativ metaanalyse af næringsstoffjernelse og andre kemiske og biologiske effekter fra forskellig naturpleje

Opgaven i denne rapport var at samle information og data om næringsstoffjernelse ved naturpleje fra Danmark og Nordvest Europa (tabel 4-7). Vi har derfor ikke samlet andre data om effekter af pleje for eksempel kemiske indikatorer eller data om forskellige organismegrupper. Der mangler en dybere kvantitativ analyse af de resultater om naturpleje, der er publiceret i litteraturen. Med statistiske metoder som metaanalyse-værktøjer får man mere sikre estimater for næringsstoffjernelsen for hver habitattype og indsigt i hvilke faktorer der påvirker næringsstoffjernelsen.

0,5 mill.

Projekt 8: Remote sensing af N- og P- indhold i vegetation

For bedre at kunne vurdere den potentielle naturudvikling på en lokalitet med forskellige plejetiltag og forskellige niveauer af N-deposition kan viden om fordelingen af de plantetilgængelige N og P puljer være et muligt værktøj. Det vil være omfattende at undersøge med traditionelle metoder. Vi foreslår i den forbindelse at undersøge hvor gode N og P målinger i bladløv er som mål for den plantetilgængelige N og P pulje. Og dernæst at undersøge i hvilket omfang satellitdata (eller drone opsamlede data) kan bruges til at måle N og P i bladløv (Asner m.fl. 2016).

0,5 mill.

Projekt 9: Langsigtede naturplejeforsøg – effekt på biogeokemi og biodiversitet

Der gennemføres ganske meget naturpleje i forskellige naturgenopretningsprojekter og der udlægges forskellige forsøg i forbindelse disse projekter, men ofte er de af kortere varighed og ofte uden mere langsigtet opfølgning. For eksempel er det oplagt at følge op på forsøg med brand i et Life-Hede-projekt på Randbøl Hede. Men for at forbedre vidensgrundlaget for naturpleje er der brug for

et langsigtet perspektiv. Ved drastiske indgreb som for eksempel tørveskrælning tager det formentlig årtier for økosystemet at reagere på forstyrrelsen.

Tidligere forsøg med tilgængelige data og god dokumentation af begyndelses-tilstand og behandlinger samles i en meta-database. Der udvælges et antal forsøg til yderligere opfølgning og dokumentation med henblik på disse kan udgøre et grundlag af langsigtede naturplejeforsøg (svarende til de forsøg IGN vedligeholder for skovene).

0,3 mill. + 0,2 mill. pr år.

Referencer

- Aerts R. 1989. Aboveground Biomass and Nutrient Dynamics of *Calluna vulgaris* and *Molinia caerulea* in a Dry Heathland. *Oikos* 56: 31-38
- Aerts R, Heil GW 1993. *Heathlands: Patterns and Processes in a Changing Environment* pp. 181-200. Kluwer Academic Publisher.
- Alterra, 2012. Recovery strategies for nitrogen-sensitive habitats - Ecological underpinnings of the Programmatic Approach to Nitrogen (PAN).
http://ec.europa.eu/environment/nature/natura2000/platform/action_results/recovery-strategies-for-nitrogen-sensitive-habitats_en.htm.
- AmphiConsult & Degn HJ (Degn's NaturConsult). 2016. *Pleje af heder og indlandsklitter i Danmark – en metodehåndbog*.
- Asner, G. P., Knapp, D. E., Anderson, C. B., Martin, R. E., & Vaughn, N., 2016. Large-scale climatic and geophysical controls on the leaf economics spectrum. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 113: E4043–E4051.
<http://doi.org/10.1073/pnas.1604863113>
- Bak, J.L., 2013. Tålegrænser for dansk natur. Opdateret landsdækkende kortlægning af tålegrænser for dansk natur og overskridelser heraf. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 94 s. -Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 69
<http://dce2.au.dk/pub/SR69.pdf>
- Bakker JP, Elzinga JA, de Vries Y. 2002. Effects of Long-Term Cutting in a Grassland System: Perspectives for Restoration of Plant Communities on Nutrient-Poor Soils. *Applied Vegetation Science* 5: 107-120.
- Bargmann T, Maren IE, Vandvik V. 2014. Life after fire: smoke and ash as germination cues in ericads, herbs and graminoids of northern heathlands. *Applied Vegetation Science* 17, 670–679. Benke, M., Kornher, A. & Taube, F. 1992. Nitrate leaching from cut and grazed swards influenced by nitrogen fertilization. *Proceedings of the 14th General Meeting of the European Grassland Federation*, Finland, 184-188.
- Blindow I, Gauger D & Ahlhaus M. 2017. Management regimes in a coastal heathland – effects on vegetation, nutrient balance, biodiversity and gain of bioenergy. *J. Coastal Conservation* 21: 173-188.

- Bobbink, R. & Hettelingh, J.-P. (eds.), 2011. Review and revision of empirical critical loads and dose-response relationships Proceedings of an expert workshop, Noordwijkerhout, 23-25 June 2010. RIVM report: 680359002. (<http://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/680359002.pdf>).
- Buttenschøn, R.M. 2007. Græsning og høslæt i naturplejen. Miljøministeriet, Skov- og Naturstyrelsen og Center for Skov, Landskab og Planlægning, Københavns Universitet, Hørsholm, 2007. 250 s. ill.
- Buttenschøn R.M. 2010. Fokus på pleje af de følsomme naturtyper. Præsentation, Planteavlskongressen 2010.
- Buttenschøn, R.M. 2011. Viden om plejebenhov. Upubliceret notat. Skov- og Landskab, Københavns Universitet.
- Damgaard, C.F., Strandberg, B., Nielsen, K.E., Bak, J.L. & Skov, F. 2007: Forvaltningsmetoder i N-belastede habitatnaturtyper. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet. 45 s. – Faglig rapport fra DMU nr. 637 <http://www.dmu.dk/Pub/FR637.pdf>
- Diemont WH. 1996. Survival of Dutch heathlands. IBN Scientific Contribution 1. Wageningen, The Netherlands: IBN-DLO.
- Ellermann T, Bossi R, Christensen J, Løfstrøm P, Monies C, Grundahl L. & Geels C. 2015: Atmosfærisk deposition 2014. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi. 88 s. – Videnskabelig rapport fra DCE–Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 163. dce2.au.dk/pub/SR163.pdf
- Emmett, B., Jones, M.L.M., Jones, H., Wildig, J., Williams, B., Davey, M., Carroll, Z., Smart, S.M. and Healey, M. (2004). Grazing/nitrogen deposition interactions in upland acid moorland Centre of Ecology and Hydrology, Welsh Office Contract No. 182-2002, Countryside Council for Wales Contract No. FC-73-03-89B.
- Fredshavn J, Søgaard B, Nygaard B, Johansson LS, Wiberg-Larsen P, Dahl K, Sveegaard S, Galatius A, Teilmann J. 2014. Bevaringsstatus for naturtyper og arter. Habitatdirektivets Artikel 17 rapportering. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 54 s. Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 98 <http://dce2.au.dk/pub/SR98.pdf>
- Gilhaus K, Holzel N 2016. Seasonal variations of fodder quality and availability as constraints for stocking rates in year-round grazing schemes. *Agricultural Ecosystems & Environment* 234: 5-15. DOI: 10.1016/j.agee.2016.03.013
- Granström, A. (1988): Seed banks at Six Open and Afforested heathland Sites in Southern Sweden. *Journal of Applied Ecology* 25:297-306.
- Gundersen, P., Buttenschøn, R.M. (2005): Vegetationsudvikling og nitrat- udvaskning ved ændret arealanvendelse, Eng, overdrev og skovrejsning i Drastrupprojektet 1998-2005. Arbejdsrapporter Skov & Landskab, Nr. 24, Skov og Landskab, Hørsholm.
- Hald AB & Michaelsen AN. 2015. Pleje af førnbelastede rigkær med afbrænding: Dokumentation af et nyt redskab til naturpleje Natur & Landbrug ApS & Biomedica. http://www.natlan.dk/Baggrund%20projekter/Rigk%C3%A6r_afbr%C3%A6nding/Pleje%20af%20rigkær%20med%20afbrænding_projektbeskrivelse_hjemmeside.pdf
- Härdtle W, von Oheimb G, Gerke AK, Niemeyer M, Niemeyer T, Assmann T, Drees C, Matern A, Meyer H 2009: Shifts in N and P budgets of heathland ecosystems: effects of management and atmospheric inputs. *Ecosystems* 12: 298-310. doi: 10.1007/s10021-008-9223-3

- Härdtle, W., Niemeyer, M., Niemeyer, T., Assmann, T., & Fottner, S. (2006). Can management compensate for atmospheric nutrient deposition in heathland ecosystems? *Journal of Applied Ecology*, 43, 759-769. doi: 10.1111/j.1365-2664.2006.01195.x
- Jacquemyn, H., Brys, R. and Hermy, M. (2003). Short-term effects of different management regimes on the response of calcareous grassland vegetation to increased nitrogen. *Biological Conservation*, 111, 137-147.
- Jones, L., Stevens, C., Rowe, E.C., Payne, R., Caporn, S.J.M., Evans, C.D., Field, C., Dale, S., 2017. Can on-site management mitigate nitrogen deposition impacts in non-wooded habitats? *Biol. Conserv.* 212, 464–475.
- Johannsen VK & Nord-Larsen T. 2017. Skovbevoksede moser. Sagsnotat til Miljøstyrelsen. IGN, Københavns Universitet.
- Kepfer-Rojas S, Schmidt IK, Ransijn J, Riis-Nielsen T & K Verheyen. 2014. Distance to seed sources and land-use history affect forest development over a long-term heathland to forest succession. *Journal of Vegetation Science* 25: 1493–1503.
- Kongstad Pedersen J 2006. Kvælstofs og fosfors indvirkning på fænologi, tilvækst og næringsstofindhold for *Deschampsia flexuosa* og *Calluna vulgaris*. Specialerapport, Københavns Universitet.
- Kristensen HL & McCarty GW. 1999. Mineralization and immobilization of nitrogen in heath soil under intact *Calluna*, after heather beetle infestation and nitrogen fertilization. *Applied Soil Ecology* 13: 187-198.
- Levin, G. 2010. Rumlige analyser. Upubliceret notat udarbejdet som del af ”Kortlægning af naturplejebæhov”. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet.
- Lian F & Xing B. 2017. Black Carbon (Biochar) In Water/Soil Environments: Molecular Structure, Sorption, Stability, and Potential Risk. *Environ. Sci. Technol.* 51: 13517–13532. DOI: 10.1021/acs.est.7b02528
- Maes, D., Decler, K., De Keersmaecker, L., Van Uytvanck, J., Louette, G., 2017. Intensified Habitat Management to Mitigate Negative Effects of Nitrogen Pollution can be Detrimental for Faunal Diversity: a Comment on Jones et al. (2017). *Biol. Conserv.* 212: 493–494.
- Matzner E & Ulrich B. The transfer of Chemical Elements within a heath-ecosystem (*Calluna vulgaris*) in Northwest Germany. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 143: 666-678.
- Milberg, P. & Bergman, K-O. 2014 Vårbränning är inte ett långsiktigt alternativ till bete eller slåtter av värdefulla artrika gräsmarker. *Svensk Botanisk Tidskrift* 108: 312-322.
- Milberg, P., Brenda, A., Bergman, K-O, Fogelfors, H. Paltto, H. & Tälle, M. 2014. Is spring burning a viable management tool for species-rich grasslands? *Appl. Vegetation Science* 17: 429-441.
- Naturstyrelsen. 2016. Naturpleje som driftsgren.
<http://naturstyrelsen.dk/naturbeskyttelse/naturprojekter/naturpleje-som-driftsgren/>
- Neuenkamp L, Metsoja JA, Zobel M, Hölzel N. 2013. Impact of management on biodiversity-biomass relations in Estonian flooded meadows *Plant Ecol.* 214: 845–856
- Nielsen L. 2012. Biomasseproduktion på danske naturarealer. *Natur og Landbrug* s. 1-14.

- Nielsen L, Trénel P, Ward AJ og Jørgensen TV. 2016. Græs på engarealer. Oversigt over Landsforsøg 2016, 180-184.
- Niemeyer T, Niemeyer M, Mohamed A, Fottner S, Härdtle W. 2005. Impact of prescribed burning on the nutrient balance of heathlands with particular reference to nitrogen and phosphorus. *Appl. Veg Sci.* 8:183–92.
- Nord-Larsen, T, Riis-Nielsen, T & Ottosen, MB 2017, Forest resource map of Denmark: Mapping of Danish forest resource using ALS from 2014- 2015. Department of Geosciences and Natural Resource Management, University of Copenhagen. IGN Report.
- Nygaard B, Levin G, Buttenschøn RM, Ejrnæs R, Asferg T, (ed.). 2011. Kortlægning af naturplejebehov: notat vedr. delprojekt 1 i projektet: Sikring af plejekrævende lysåbne naturtyper i Danmark. 2011. 38 s.
- Nygaard B, Levin G, Bladt J, Holbeck HB, Brøndum W, Spelth P. & Ejrnæs R. 2012. Analyse af behovet for græsning og høslæt på beskyttede naturarealer. Areal, biomasse og antal græsningsdyr. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 78 s. - Teknisk rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 13
<http://www.dmu.dk/Pub/TR13.pdf>
- Nygaard, B., Nielsen, K.E., Damgaard, C., Bladt, J. & Ejrnæs, R. 2014. Fagligt grundlag for vurdering af bevaringsstatus for terrestriske naturtyper. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 142 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 118 <http://dce2.au.dk/pub/SR118.pdf>
- Odgaard B. 2015. Lyngheden som naturtype er trængt i Danmark. Hedens forløber – åben hedeskov som et nyt forvaltningsmål?. *Flora og Fauna* 121: 79-82.
- Pedersen, L.B., Buttenschøn, R. M., Jensen, T.S., 2001. Græsning på ekstensivt drevne naturarealer – Effekter på stofkredsløb og naturindhold. Park- og Landskabsserien nr. 34, Skov & Landskab, Hørsholm.
- Power, S.A., Barker, C.G., Allchin, E.A., Ashmore, M.R., Bell, J.N.B., 2001. Habitatmanagement: a tool to modify ecosystem impacts of nitrogen deposition? *Sci. World* 1: 714–721.
- Riis-Nielsen T, Søchting U, Johannsson M, Nielsen, P. (1991): Hedeplejebogen - de danske heders historie, pleje og udforskning. Miliøministeriet, Skov- og Naturstyrelsen, København.
- Schmidt, I. K. (2015). Næringsstoffer på heden - kan hedeplejen håndtere det? *Flora og Fauna*, 121: 109-119.
- Schoukens H. 2015. Atmospheric nitrogen deposition and the habitats directive: tinkering with the law in the face of the precautionary principle? *Nordic Environmental Law Journal*. p.25-57.
- Schoukens H. 2017. Nitrogen deposition, habitat restoration and the EU Habitat Directive: moving beyond the deadlock with the Dutch programmatic nitrogen approach? *Biol. Conserv.* 212: 484–492.
- Serrano JM. 2015. Effects of combined management regimes on nutrient pools and biodiversity in heathland ecosystems. Master thesis. IGN Københavns Universitet.
- Smits J. 2016. New insight in restoration: micronutrient deficiency and loss of gradients. Præsentation på LIFE-Hede seminar. LIFE09 NAT/DK/000370 - Restoration of Atlantic heath and inland dunes in Denmark den 15. og 16. september 2016. Seminarrapport s. 80-94.

- Stevens, C., Dupre, C., Dorland, E., Gaudnik, C., Gowing, D. J. G., Bleeker, A., Diekmann, M., Alard, D., Bobbink, R., Fowler, D., Corcket, E., Mountford, J. O., Vandvik, V., Aarrestad, P. A., Muller, S. & Dise, N. B. 2011 The impact of nitrogen deposition on acid grasslands in the Atlantic region of Europe. *Environmental Pollution* 159: 2243-2250
- Stevens, C., Jones, L., Rowe, E., Dale, S., Payne, R., Hall, J., Evans, C., Caporn, S., Sheppard, L., Menichino, N., Emmett, B. 2013. Review of the effectiveness of on-site habitat management to reduce atmospheric nitrogen deposition impacts on terrestrial habitats. CCW Science Series Report No: 1037 (part A), 186pp, CCW, Bangor.
- Stevens, C.J., Dise, N.B., Mountford, J.O., Gowing, D.J., 2004. Impact of nitrogen deposition on the species richness of grasslands. *Science* 303: 1876–1879.
- Tälle M, Deák B, Poschlod P, Valkó O, Westerberg L, Milberg P. 2016. Grazing vs. mowing: a meta-analysis of biodiversity benefits for semi-natural grassland management. – *Agriculture, Ecosystems & Environment* 222: 200-2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2016.02.008>.
- Tälle M, Fogelfors H, Westerberg L, Milberg P. 2015. The conservation benefit of mowing vs. grazing for management of species-rich grasslands: a multi-site, multi-year field experiment. – *Nordic Journal of Botany* 33: 761-768. <http://dx.doi.org/10.1111/njb.00966>.
- Van den Berg, L., Loeb, R., Bobbink, R., 2014. Mitigatie N-Depositie Zeetoegang IJmond: In-schatting Stikstofafvoer Door PAS-Herstelmaatregelen. Dienst Landelijk Gebied, RWS West-Nederland Noord (Rapportnummer: 2014.08).
- van Dobben, H.F., Warnelink, G.W.W., Klimkowska, A., Slim, P.A., van Til, M., 2014. Year round grazing to counteract effects of atmospheric nitrogen deposition may aggravate these effects. *Environ. Pollut.* 195: 226–231
- Van Steerteghem E. 2012: The relationship between former land-use, nutrient availability and heathland succession at Nørholm Hede. Specialerapport Ghent Universitet, Belgien
- Vestergaard P & Alstrup V. 1996. Loss of Organic Matter and Nutrients from a Coastal Dune Heath in Northwest Denmark Caused by Fire. *Journal of Coastal Conservation* 2: 33-40
- Vilsholm, A. 2006. Svinefarmes ammoniakemission – påvirkning af tilstødende hedeøkosystemer. Specialerapport. Københavns Universitet.
- Vogels J, Siepel H & Webb NR 2013: Consequences of changed nutrient contents for entomofauna and insectivores. In : Diemont WH m.fl. (eds) 2013. Economy and ecology of heathlands, KNNV Publishing, Zeist, the Netherlands: side 273-297.

KØBENHAVNS UNIVERSITET

INSTITUT FOR GEOVIDENSKAB
OG NATURFORVALTNING

ROLIGHEDSVEJ 23
1958 FREDERIKSBERG

TLF. 35 33 15 00
IGN@IGN.KU.DK
WWW.IGN.KU.DK